

Mágneses és elektromos térre érzékeny kompozit gélek és elasztomerek előállítása

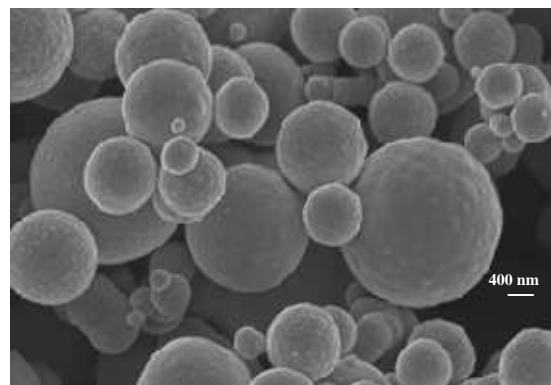
Dr. Filipcsei Genovéva

Zárójelentés

Az évszázad utolsó tíz éve jelentős változást eredményezett az anyagtudományban. Az egyre bővülő felhasználói igények paradigmaváltást kényszerítettek ki. Az új gondolkodásmód kulcsszavává a környezethez való alkalmazkodóképesség vált. Az anyagok passzív változatlanóságára irányuló törekvéseket felváltotta az anyag és környezete dinamikus együttélését vizsgáló szemléletmód. Megjelent egy új fogalom: az intelligens anyag. Az intelligens anyag elnevezés az anyagtudomány egy olyan új területére utal, amely az anyag és közvetlen környezete aktív kapcsolatát igyekszik feltárni és kiaknázni. Elsődleges célja olyan szintetikus anyagok tervezése, előállítása és tulajdonságainak vizsgálata, amelyek a felhasználó számára előnyösen képesek reagálni a környezetükből származó fizikai és/vagy kémiai hatásokra.

Mágneses térre érzékeny poli(dimetil-sziloxán) kompozit elasztomerek előállítása

Mágneses térre érzékeny kompozit elasztomerek előállítása során vas és vas-oxid részecskéket építettünk be poli(dimetil-sziloxán) térhálóbba. Az előállítás során a részecék koncentrációja 10-30m/m % között változott. A töltőanyagként használt mágneses térre érzékeny részecskékről pásztázó elektron-mikroszkóppal (SEM) készített felvétel látható az 1. ábrán. Az átlagos részecskemérete a gömb alakú vas részecskékeknek 2,5 μm , míg a vas-oxidé 0,2 μm .

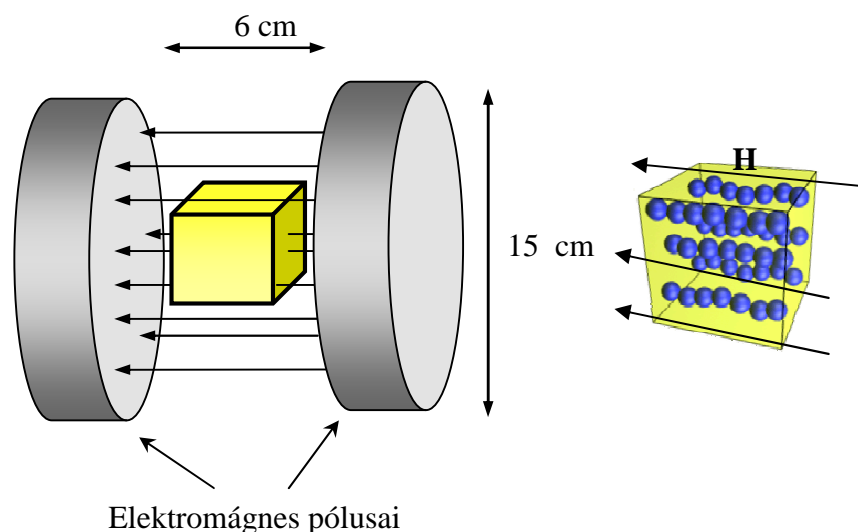


1. ábra.: Vas részecskékről készült SEM felvétel

Anizotrop mágneses térre érzékeny elasztomerek előállítása

Anizotrop, mágneses térre érzékeny elasztomerek előállítása során a térhálósítandó elegyet homogén mágneses térbe helyezük (JM-PE-I, JEOL, Japán). Homogén mágneses térben a térre érzékeny részecskék a tér irányába mutató láncszerű aggregátumokat képeznek. A térhálósítással a kialakult szerkezet rögzíthető. A kísérleti elrendezés a 2. ábrán látható.

A kialakult láncszerű aggregátum az előállítás során a töltőanyag



2. ábra: Anizotrop elasztomerek előállítása mágneses térben

koncentrációjával ill. az alkalmazott mágneses tér erősségével befolyásolható.

Mechanikai vizsgálatok

Az előállított mágneses térre érzékeny kompozit elasztomerek magnetoelasztikus viselkedését külső mágneses tér jelenléte nélkül és mágneses tér jelenlétében INSTRON 5543 típusú rugalmassági moduluszmérő készülékkel végeztük.

Mágneses térre érzékeny izotrop ill. anizotrop elasztomer rugalmassági moduluszát egyirányú összenyomással határoztuk meg. A gumirugalmasság alapösszefüggéseit felhasználva az elasztomerek rugalmassági modulusza az alábbi összefüggés alapján határozható meg:

$$\sigma_n = G(\lambda - \lambda^{-2}) = G \cdot D \quad (1)$$

ahol σ_n a nominális feszültség, λ a deformációs arány, amely a minta erő irányában mért deformált hossza osztva a deformálatlan hosszával, G a minta rugalmassági modulusza, mely a töltőanyag koncentrációjától az Einstein-Smallwood egyenlet szerint függ:

$$G = G_0(1 + k_e \phi_m) \quad (2)$$

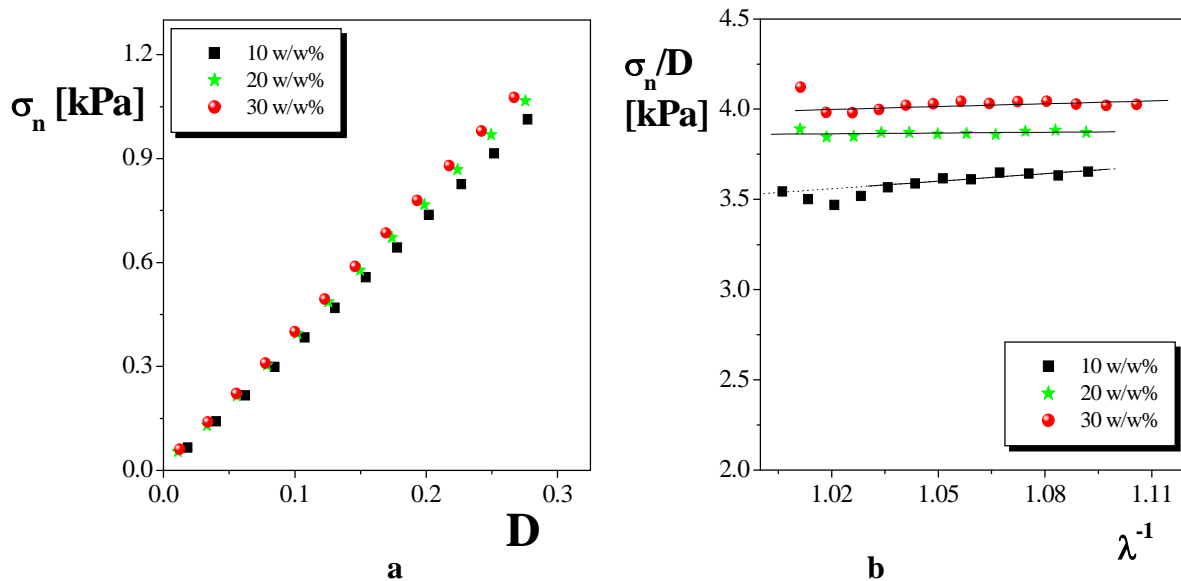
ahol G_0 a töltetlen elasztomer modulusza, ϕ_m a töltőanyag-részecskék térfogattörtje, k_e az Einstein-Smallwood paraméter.

Nem ideális térhálók esetében a Mooney-Rivlin összefüggés a következő formában írható fel:

$$\frac{\sigma_n}{D} = C_1 + C_2 \lambda^{-1} \quad (3)$$

ahol $C_1 + C_2$ a modulusz (G).

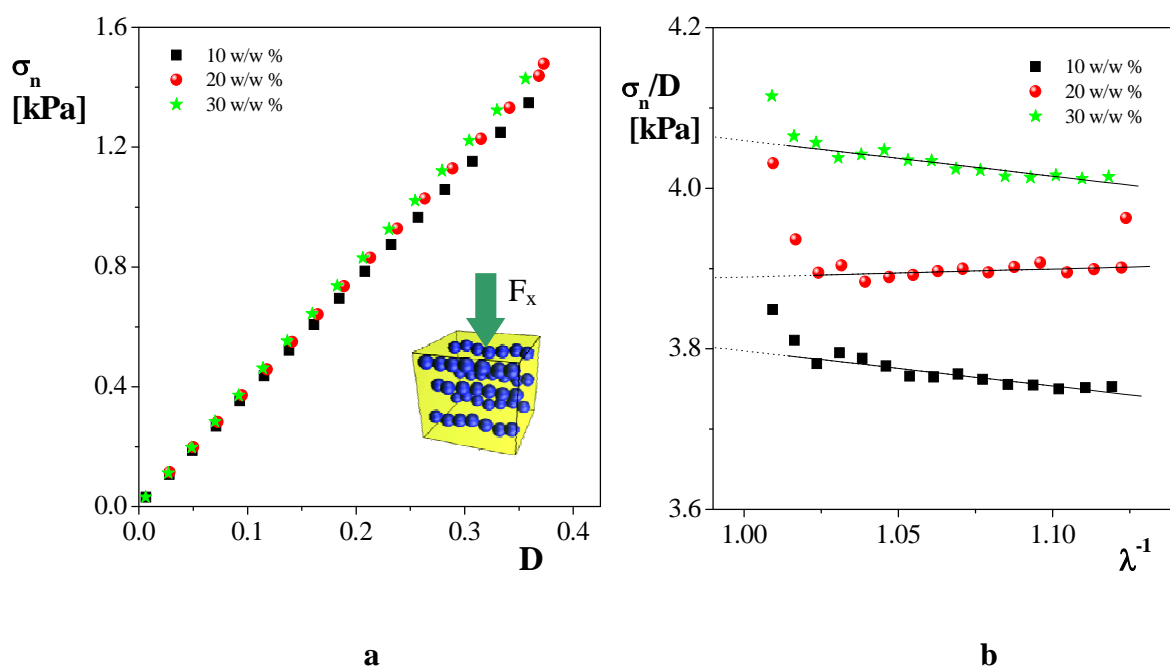
Különböző mennyiségű vas töltőanyagot tartalmazó elasztomerek nominális feszültségének $D = (\lambda - \lambda^{-2})$ mennyiségtől való függése látható a 3.a ábrán, míg a 3.b ábrán a Mooney-Rivlin féle ábrázolás.



3. ábra: Vas részecskéket tartalmazó izotrop PDMS elasztomer nominális feszültségének D mennyiségtől való függése

Különböző mennyiségű töltőanyagot tartalmazó izotrop mágneses elasztomer egyirányú összenyomásával kapott eredményei (3.ábra) a mérési hibahatáron belül a (1)-es egyenlettel leírhatók. Az ideális viselkedéstől való eltérés, mely a második Mooney-Rivlin (C_2) állandóval jellemezhető elhanyagolható.

Anizotrop minták esetében az ideális viselkedésről már nem beszélhetünk. Ebben az esetben a mérések során két különböző állapotot kell figyelembe vennünk. Az egyik eset, amikor az összenyomás iránya azonos az irányított részecskeszerkezettel, a másik, pedig az amikor erre a szerkezetre merőleges. Abban az esetben, amikor az összenyomás iránya merőleges a térhálóban rögzített láncszerű részecske aggregátumokra, akkor kis mértékű eltérés tapasztalható az ideális viselkedéshez képest, ahogyan ez a 4. ábrán jól látható.



4. ábra: Vas részecskéket tartalmazó anizotrop PDMS elasztomer nominális feszültségének D mennyiségtől való függése. Az összenyomás iránya merőleges a kialakult részecskeszerkezetre

Megállapítható, hogy anizotrop PDMS elasztomerek egyirányú összenyomása során nem ideális mechanikai viselkedés tapasztalható, melyet a második Mooney-Rivlin (C_2) állandó kis negatív értéke mutat. A C_2 állandó értékét a Mooney-Rivlin függvény meredeksége adja meg.

Megállapíthatjuk, hogy az elasztomerek mechanikai tulajdonságát mind a töltőanyag koncentrációja, mind pedig a részecskék polimer térhálóban való elrendezése nagymértékben befolyásolja.

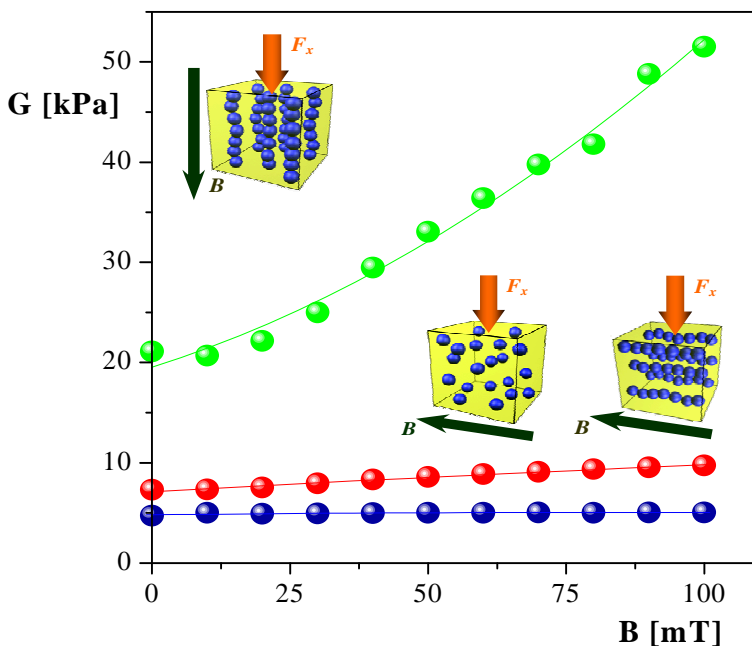
Mechanikai mérések homogén mágneses térben

Kutatócsoportunk homogén mágneses térben történő mechanikai mérésekre alkalmas műszert fejlesztett ki. A műszer rajza az 5.ábrán látható.

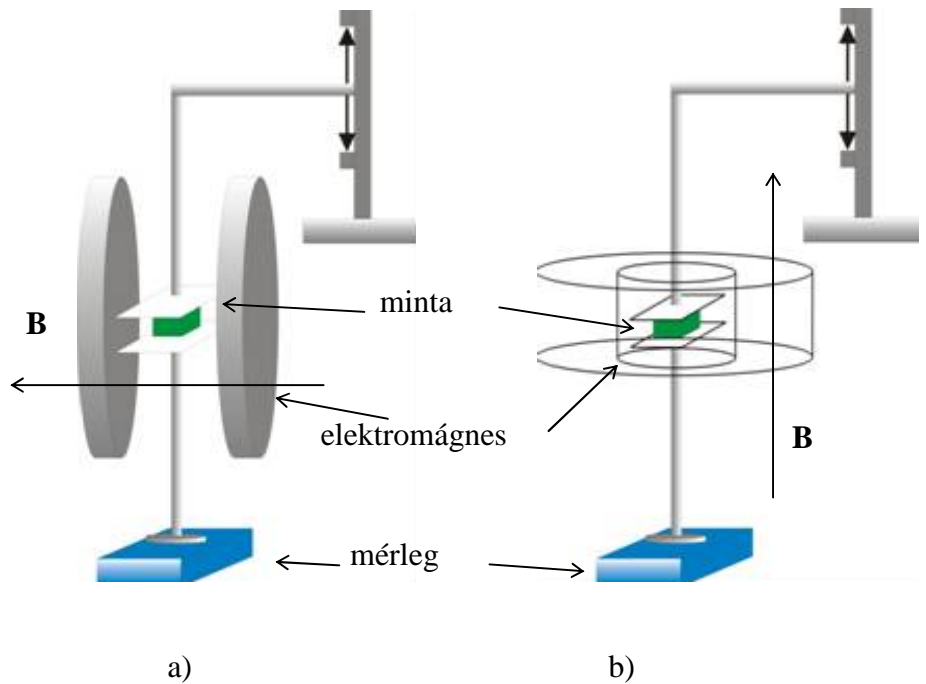
A mérések során az alkalmazott mágneses tér erőssége 10 és 100 mT között változtatható. A deformáció, a tér iránya a mérési elrendezéstől függően lehet párhuzamos és merőleges az elasztomerben kialakult orientált részecskeszerkezetre.

A 6.ábrán vas részecskékkel töltött izotrop és anizotrop PDMS elastomerek rugalmassági moduluszának homogén mágneses tértől való függése látható. Jól látható, hogy izotrop PDMS elastomerek esetében a rugalmassági modulusz csak kismértékben függ az alkalmazott tér erősségétől. Anizotrop elastomerek esetében, ha a deformáció iránya merőleges a mágneses tér és a láncszerű részecskestruktúrára, a homogén mágneses tér nagymértékben hat a rugalmassági moduluszra.

Abban az esetben, ha a deformáció iránya párhuzamos a homogén mágneses tér irányával és az orientált részecskestruktúrával, a rugalmassági modulusz a mágneses tér erősségével befolyásolható. 100 mT tér alkalmazása



6.ábra: Vas részecskékkel töltött izotrop és anizotrop PDMS elastomerek rugalmassági moduluszának homogén mágneses tértől való függése látható



5.ábra: Rugalmassági modulusz mérése homogén mágneses térben
a) kísérleti elrendezés, ha a mágneses tér iránya merőleges az összenyomásra
b) kísérleti elrendezés, ha a mágneses tér iránya párhuzamos az összenyomással
B a mágneses tér irányát jelzi a mérés során

során a rugalmassági modulusz a tér nélkül mért modulusz értékének közel 300 %-a. Ha összehasonlítjuk az izotrop minta rugalmassági moduluszával az anizotrop minta moduluszát mágneses térben, megállapíthatjuk, hogy a részecskeorientációval és mágneses tér alkalmazásával a rugalmassági modulusz 300%-kal megnövelhető illetve szabályozható.

Megállapítható, hogy mágneses térre érzékeny kompozit elastomerek alkalmasak rezgés- és lengéscsillapítóknak történő alkalmazásra. Külső mágneses térrel az elastomerek mechanikai

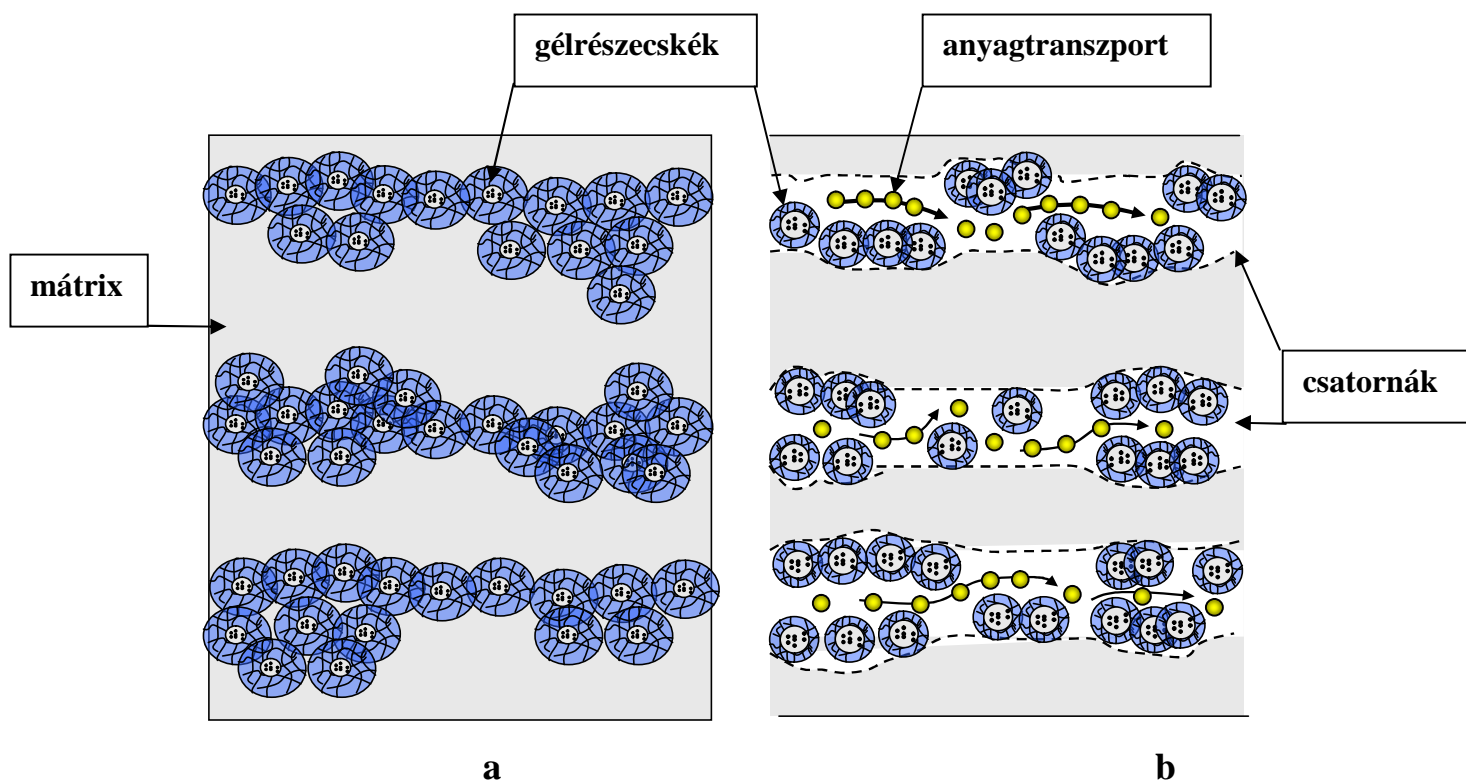
tulajdonságai nagymértékben befolyásolhatóak. A mechanikai tulajdonságok befolyásolásával a rezgés illetve lengés frekvenciája és amplitúdója szabályozható.

Hőmérséklet-érzékeny, szabályozható permeabilitású membrán kontrollálható nyitó-záró mechanizmussal

A kutatómunka során olyan új, külső hatással szabályozható permeabilitású membránt állítottunk elő, amelyben nano vagy mikrométerű csatornákat építettünk be. Ezen csatornákat elektro-reológiai és/vagy magneto-reológia hatással hozzuk létre mágneses és/vagy elektromos térre érzékeny részecskéket tartalmazó monolit vagy kompozit mikrogél részecskékből. Ezen gél részecskék, amelyek lehetnek gélgömbök, vagy az adott mérettartományba eső tetszőleges alakú testek, homogén elektromos és/vagy mágneses tér hatására láncszerű aggregátumokba rendeződnek. Ez a rendeződési jelenség térhálósító molekulákat tartalmazó monomerben és/vagy polimer oldatban is lejátszódik. A láncszerű gél aggregátumokat homogén elektromos és/vagy mágneses térben megvalósított térhálósító reakcióval polimer membránba építjük be.

A gélmátrixba ágyazott nanométer és/vagy mikrométer tartományba eső gél részecskék mérete környezeti hatásokkal (hőmérséklettel, pH-val, ionerősséggel, só koncentrációval, elegyösszetétellel, mágneses és/vagy elektromos térrel, mikrohullámmal, ultrahanggal és fénnel) - a gél fizikai és kémiai szerkezetétől függő mértékben - széles határok között, pillanatszerűen változtatható. A párhuzamos sorokba rendezett gél részecskék térfogatváltozásának következtében a nanométer és/vagy mikrométer tartományba eső, egymással párhuzamos csatornák alakulnak ki. A csatornák pórusmérete a láncszerű részecske aggregátumokat felépítő egyedi gélgömbök méretével és azok térfogatváltozásának mértékével szabályozható. A láncszerű füzérekbe rendezett gélgömbök fentebb felsorolt hatásokkal előidézett méretváltozása jelenti a membrán nyitó-záró mechanizmusát, amely megteremti a lehetőségét a külső hatásokkal szabályozható hatóanyag leadásnak, valamint az oldatbeli molekulák méret és hidrofobitás szerinti elválasztásának.

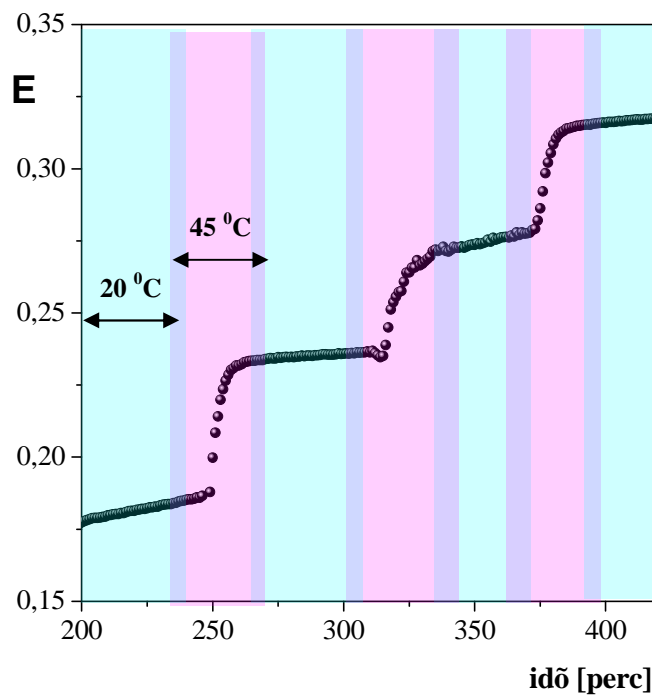
E kompozit membrán permeabilitása a környezeti paraméterek alkalmas megválasztásával illetve megváltoztatásával szabályozható. Elektro- és/vagy magneto-reológia hatással létrehozott, és a térhálóban rögzített gélgömbök térfogata jelentősen lecsökken a környezeti paraméterek megváltoztatásának hatására, ahogyan ezt a 7.ábra szemlélteti.



7.ábra: Szabályozható permeabilitású membrán működési elve

a) zárt állapotban b) nyitott állapotban

A 8. ábrán a marhaszérum albumin hőmérséklet-érzékeny membránon keresztüli transzportfolyamatát mutatjuk be.



8.ábra: Marhaszérum albumin transzportja hőmérséklet-érzékeny membránon keresztül. A kék területek 20 °C-on, míg a rózsaszín területek 45 °C-on jelzik a membránon keresztüli transzportot.

Az ábrán jól látható, hogy 20 °C-on, amikor a membránban a csatornák zárva vannak nincs anyagtranszport a membránon keresztül. Ha a hőmérsékletet 45 °C-ra emeljük a lánc-szerű füzérekbe rendezett gélgömbök térfogat csökkenésének köszönhetően a csatornák megnyílnak, az albumin transzportja a membránon keresztül jelentős.

A membránban kiépített csatornák nyitása illetve zárása a hőmérsékleten kívül előidézhető még számos más környezeti paraméter megváltoztatásával, mint pl.: pH, ionerősség, só koncentráció, elegyösszetétel, mágneses és/vagy elektromos tér, mikrohullám, ultrahang, fény. Ezen hatások külön külön vagy együttesen is előidéznek a membránon keresztüli anyagtranszportot. Így például előállítható olyan membrán, melyben a csatornák nyitása/zárása hőmérsékletváltoztatással és fénnel vagy pH megváltoztatással, elegyösszetétellel és mágneses térrel is szabályozható egyaránt.

A membrán transzport tulajdonságainak szabályozása lehetővé teszi a membrán orvosi biológiai felhasználását, mint pl.: gyógyszerhatóanyag leadás szabályozása külső környezeti paraméterek megváltoztatásával. Továbbá számos ipari felhasználás közül említésre érdemes a szelektív megkötés, elválasztás, tisztítás, frakcionálás, valamint méret alapján történő komponens elválasztás lehetősége illetve mikroreaktorként, mikro pumpaként történő alkalmazás.